第 37 卷第 22 期 生 态 学 报 Vol.37,No.22
2017 年 11 月 ACTA ECOLOGICA SINICA Nov.,2017

DOI: 10.5846/stxb201609211906
陆晓辉,丁贵杰.马尾松人工纯林凋落松针数量及基质质量动态.生态学报,2017,37(22):7568-7575.
Lu X H, Ding G J.Dynamics and quality of leaf litter fall in pure *Pinus massoniana* plantations.Acta Ecologica Sinica,2017,37(22):7568-7575.

马尾松人工纯林凋落松针数量及基质质量动态

陆晓辉[1,3],丁贵杰[1,2,*]
1 贵州大学贵州省森林资源与环境研究中心,贵阳 550025
2 贵州大学林学院,贵阳 550025
3 贵州师范大学地理与环境科学学院,贵阳 550001

摘要:凋落物是森林生态系统的重要组成部分,其产量与基质质量是影响植物-土壤间养分循环的重要因素。以 3 种密度马尾松人工纯林为研究对象,分析松针凋落模式及基质质量变化规律,比较不同林分密度间松针凋落特性差异,探讨松针基质质量、产量及气候因素间的关系。结果表明:松针凋落数量动态变化属双峰型,在 2 月呈现一个小高峰,在 10/11 月达最高峰。3 种密度林分中各月凋落松针的 N、P 浓度均差异显著($P<0.05$),全年最高值出现在 4—6 月,8—12 月的松针 N、P 浓度显著低于其他时段;不同月份凋落松针木质素浓度也差异显著($P<0.05$),在 2 月木质素含量达峰值,7、8 月含量较低;3 种密度林分中各月凋落松针的 C/N、C/P、L/N 和 L/P 比存在显著差异($P<0.05$),4—6 月呈现最低值,9/11/12 月则出现最高值,相差达 2—3 倍,且均高于养分释放临界值,不利于松针 N 素和 P 素的释放。林分密度对松针凋落数量和 N 浓度影响显著($P<0.05$),中等密度林分松针凋落数量高于低、高密度林分,中、高密度林分凋落松针 N 浓度显著高于低密度林分。凋落松针基质质量与自身凋落数量密切相关,并且受气温和降水量的影响。凋落松针 N、P 浓度与凋落数量呈显著负相关($P<0.05$),C/N、C/P、L/N、L/P 比与凋落数量呈显著正相关($P<0.05$),说明更多凋落物产量将伴随着更低的基质质量,将有更慢的分解速度。
关键词:马尾松;林分密度;凋落松针;基质质量;凋落动态

Dynamics and quality of leaf litter fall in pure *Pinus massoniana* plantations

LU Xiaohui[1,3], DING Guijie[1,2,*]
1 *Institute for Forest Resources & Environment of Guizhou, Guizhou University, Guiyang* 550025, *China*
2 *College of Forestry, Guizhou University, Guiyang* 550025, *China*
3 *School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang* 550001, *China*

Abstract: Litter is an important component of forest ecosystems, and its production and substrate quality influence the cycling of nutrients among plants and the soil. Therefore, to explore the relationships among litter production, litter chemistry, and meteorologic factors, three *Pinus massoniana* stands with different stand densities (low, medium, and high) were selected and compared on a monthly basis. The production of leaf litter exhibited a bimodal distribution pattern, with a smaller peak in February and a higher peak during October and November. The concentration of N and P varied considerably among months ($P<0.05$), with peak values observed from April to June and significantly lower values observed from August to December. The concentration of lignin (L) varied considerably among months ($P<0.05$), with the highest concentration observed in February and subsequent decreases until July or August. The C/N, C/P, L/N, and L/P ratios also varied between months ($P<0.05$), with significantly lower value in April, May, and June and significantly higher values in September, November, and December. The ranges spanned nearly two-fold or three-fold differences, and all were above

基金项目:国家科技支撑项目(2015BAD09B0102);贵州省科技重大专项(黔科合重大专项字[2012]6001 号);贵州省林业重大专项(黔林科合[2010]重大 03 号);国家自然科学基金项目(41261058)

收稿日期:2016-09-21; **网络出版日期**:2017-07-12

*通讯作者 Corresponding author.E-mail: gjdinggzu@ 126.com

critical values, which generally inhibits the release of N and P. Meanwhile, stand density significantly influenced litter quantity and N concentration ($P<0.05$), with significantly more litter produced by the medium-density stand and a significantly lower N concentration in litter from the low-density stand. The substrate quality of the litter were closely related to litter quality and were influenced by temperature and precipitation, whereas monthly litter production was negatively correlated with the litter′s N and P concentrations and positively correlated with its C/N, C/P, L/N, and L/P ratios. Therefore, greater litter production was associated with lower litter quality and, subsequently, slower decomposition.

Key Words: *Pinus massoniana*; stand density; pine needle litter; substrate quality; litter dynamic

凋落物产量在某种程度上反映了森林初级生产力;凋落物分解的快慢及其养分释放的多少,则决定了森林生态系统养分过程,也决定了土壤中有效养分的供应状况,进而影响植物的养分吸收[1]。在较小尺度范围内,凋落物基质质量是影响其分解的主要因素[2-4]。因此,开展森林凋落物数量和基质质量特性研究,对认识森林初级生产力水平、森林土壤地力维持能力及生态系统可持续发展性均具有重要意义。

目前多集中于森林凋落物的数量研究,凋落物的数量多少不仅依赖于森林自身的生物学和生态学特性,如树种组成[5-7]、林分密度[8-9]、林龄[10-11]等;还同气温、降水量等气候条件[12-13],海拔[14]、土壤肥力[15]等环境因素密切相关。而有关凋落物基质质量的变化规律、影响因素及凋落物产量与其基质质量关系的研究相对较少。

马尾松(*Pinus massoniana*)是中国南方最主要用材树种之一,具有分布广、速生、丰产、适应能力强、综合利用程度高等特点。因此,本文开展不同密度马尾松人工纯林凋落松针数量和基质质量月变化研究,分析松针凋落数量及基质质量随时间的变化规律,比较不同林分密度间松针凋落特性差异,讨论松针基质质量、产量及气候因素间的关系,进而探讨凋落松针自身特性对其分解和养分循环的影响,为科学合理经营马尾松人工林提供支撑。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于贵州省龙里林场(107°1′—107°14′E, 26°50′—26°56′N),属亚热带季风湿润气候,年平均气温 14.8℃,极端高温 34.2℃,极端低温-9.2℃,年降水量多在 1060—1250 mm,多年平均无霜期 283 天,2013 年 5 月—2014 年 4 月的月降水量和月平均气温如图 1 所示。土壤以黄壤为主,由碎屑岩发育而成。

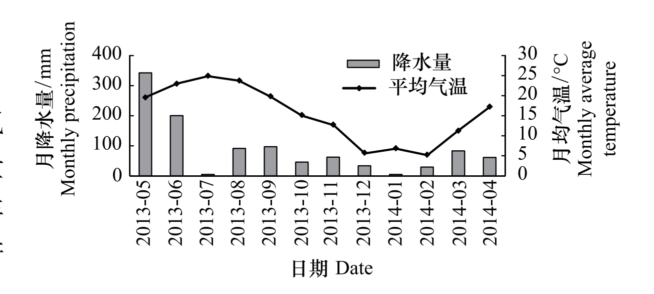


图 1　研究区域月平均气温及月降水量

Fig.1　Average monthly temperature and precipitation in the study area

选择地形、海拔、母岩、土壤类型、坡度、坡向等立地条件相近的 3 种密度 17 年生的马尾松人工纯林为研究对象,样地Ⅰ(975 株/hm^2)代表低密度林,样地Ⅱ(1425 株/hm^2)代表中密度林,样地Ⅲ(1900 株/hm^2)代表高密度林。乔木层为马尾松(*P. massoniana*),林下灌木层物种主要以茅栗(*Castanea seguinii*)、木姜子(*Litsea pungens*)、白栎(*Quercus fabri*)、红锥(*Castanopsis hystrix*)、杜鹃(*Rhododendron simsii*)为主,草本主要以天名精(*Carpesium abrotanoides*)、铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)、毛蕨(*Cyclosorus interruptus*)、金星蕨(*Parathelypteris glanduligera*)为主。

1.2　研究方法

在 3 种林分中,选择有代表性地段分别设置一块 20 m×20 m 的样地,采用每木检尺法进行林分调查测定。样地基本信息见表 1、表 2。

在每个样地中按对角线法设置 5 个 5 m×5 m 的标准样方,在每个标准样方中按三角形法朝南向设置 3 个

1 m×1 m 的底部孔径为 1 mm 的凋落物收集网,四角用木桩固定,以防面积变化产生误差,距地表约 50 cm,每个样地设 15 个收集器,共 45 个。

凋落物收集从 2013 年 6 月开始,每月定时收集 1 次,2014 年 5 月结束,共收集了 12 个月。每次收集到松针在 60℃下烘至恒重,称重,备用。

表 1　林分基本概况

Table 1　The basic situation of sample plot

样地 Site	密度 Density/(株/hm^2)	平均胸径 Average diameter at breast height/cm	平均树高 Average height/m	郁闭度 Canopy density	海拔 Altitude/m	坡度 Slope/(°)
Ⅰ	975	15.1	12.8	0.75	1195	9
Ⅱ	1425	15.0	12.5	0.86	1215	12
Ⅲ	1900	14.3	12.1	0.94	1206	10

表 2　样地土壤基本化学性质

Table 2　Soil chemical properties of studies sites

样地 Site	土层 Soil layer/cm	pH	有机质 Organic matter /(g/kg)	碱解氮 Available nitrogen/(mg/kg)	速效磷 Available phosphorus/(mg/kg)	速效钾 Available potassium /(mg/kg)
Ⅰ	0—5	4.72	83.35	258	7.35	57
	5—10	5.00	41.67	174	3.39	39
	10—20	4.90	32.28	132	1.86	30
Ⅱ	0—5	4.42	59.50	174	4.64	48
	5—10	4.38	30.47	106	2.16	22
	10—20	4.51	14.57	71	0.99	16
Ⅲ	0—5	4.03	89.30	134	4.12	40
	5—10	4.32	28.57	78	2.13	30
	10—20	4.39	16.73	43	0.66	25

1.3　化学分析

全碳、全氮使用德国 vario MACRO cube 常量元素分析仪测定;硝酸-高氯酸消煮,钼锑抗比色法分析(LY/T1270—1999) 全磷;基于范氏(Van Soest)[16]原理,意大利 VELPFIWE 纤维素测定仪分析酸性洗涤木质素。

1.4　数据处理与统计分析

利用 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析,采用单因素方差分析和多重比较(LSD),分析不同凋落时间、不同密度凋落松针数量和基质质量的差异(显著性水平为 $P=0.05$);对不同月份凋落松针数量、基质质量参数及气候因素进行 Pearson 相关分析(显著性水平为 $P=0.05$)。

2　结果与分析

2.1　松针凋落数量月动态

3 种密度马尾松林分每月都有松针凋落,月凋落量变化趋势基本一致,即 2 月松针凋落量高于 1、3 月,3—11 月松针凋落量逐渐增加,12 月急剧降低。3 个林分内松针月凋落量均存在显著性差异($P<0.05$),且 7 月—11 月的松针凋落数量显著高于其他时段,并以 10 月或 11 月最多(Ⅰ号样地 624.79 kg/hm^2;Ⅱ号样地 732.46 kg/hm^2;Ⅲ号样地 754.78 kg/hm^2)(图 2)。

2.2　凋落松针基质质量月动态

3 种林分 1—12 月凋落松针 N 和 P 浓度基本呈‘先升后降’的变化,且每月凋落松针的 N、P 浓度均存在显著差异($P<0.05$)。4—6 月凋落松针的 N、P 浓度为全年最高(N:6.61—9.67 g/kg;P:0.398—0.530 g/kg),

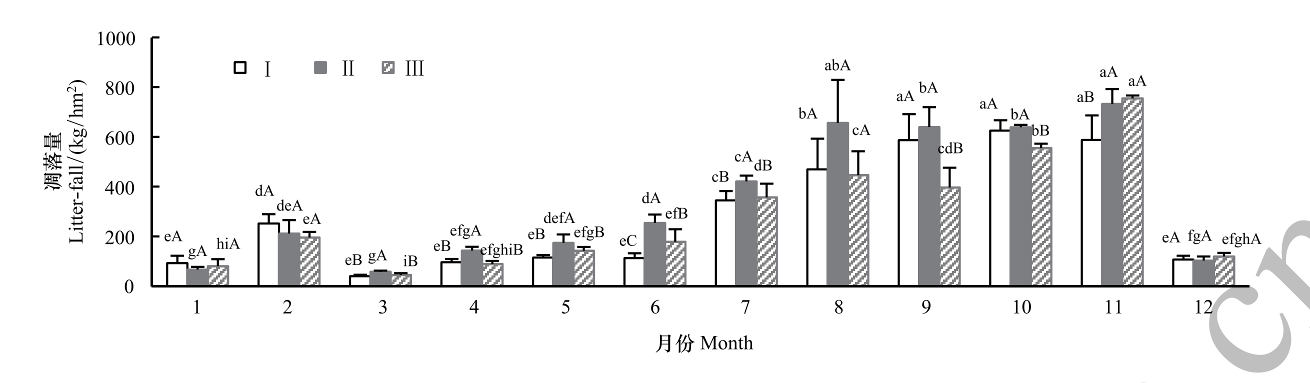


图 2　松针月凋落量动态变化

Fig.2　Monthly dynamic of leaf litter production

小写字母代表不同时间松针凋落数量差异;大写字母代表不同密度林分松针凋落数量差异

明显高于其他时段(Ⅱ号地 7 月、Ⅲ号地 2 月 P 浓度除外),之后降低,8—12 月凋落松针 N、P 浓度(N:4.16—5.94g/kg;P:0.183-0.276 g/kg)显著低于其他月份(Ⅰ号地 10 月、Ⅲ号地 1 月 P 含量除外)(图 3)。3 个样地凋落松针木质素浓度大体呈"升-降-升"的变化,不同月份松针木质素浓度差异显著($P<0.05$)。2 月凋落松针木质素浓度高(Ⅰ:425.7 g/kg; Ⅱ:412.8 g/kg; Ⅲ:418.5 g/kg),且显著高于其他月份;Ⅰ号和Ⅲ号样地木质素最低浓度出现在 8 月(Ⅰ:290.2 g/kg; Ⅲ:309.2 g/kg),Ⅱ号样地 7 月最低(275.6 g/kg)(图 3)。3 种林分 1—12 月凋落松针 C/N、C/P、L/N 和 L/P 比基本呈'先降后升'的变化,1—5(6)月逐渐降低,之后逐渐升高,9—12 月维持在较高水平,不同凋落时间松针的基质质量比差异显著($P<0.05$)。不同月份凋落松针 C/N 比在 50—117 之间,4/6 月呈现最低 C/N 比(Ⅰ:68; Ⅱ:58; Ⅲ:50),且显著低于 8—12 月凋落松针的 C/N 比。不同时段凋落松针 C/P 比在 913—2659 之间变化,8—12 月凋落松针的 C/P 比显著高于 2—7 月(Ⅲ号地 3、7 月除外),在 5/6 月出现最低值(Ⅰ:973;Ⅱ:913;Ⅲ:955)。不同月份凋落松针 L/N 比在 35—78 之间,4—6(7)月凋落松针 L/N 比显著低于 9—12 月,也在 4/6 月出现最低值(Ⅰ:43; Ⅱ:36; Ⅲ:35)。不同时间凋落松针 L/P 比变化范围为 608—1846,5/6 月呈现最小比值(Ⅰ:621; Ⅱ:607; Ⅲ:707),3(4)—7 月凋落松针 L/P 比显著低于 9—12 月(图 3)。

2.3　不同林分密度凋落松针数量及基质质量差异

各样地松针年凋落量分别为,Ⅰ号样地 3429.15±260.03 kg/hm^2,Ⅱ号样地 4098.56±319.37 kg/hm^2,Ⅲ号地 3359.59±176.33 kg/hm^2,3 种密度林分间松针年凋落量差异显著($P<0.05$),表现为Ⅱ号样地显著高于Ⅰ号和Ⅲ号样地。由图 2 可知,在 3—7 月和 9—11 月,3 种密度林分间松针月凋落量也差异显著($P<0.05$),且Ⅱ号样地显著高于Ⅰ号和Ⅲ号样地(11 月除外)。

3 种密度林分间 1—12 月凋落松针 N 浓度均存在显著差异($P<0.05$),在 1—5、8、11—12 月,Ⅲ号样地显著高于Ⅱ号样地,Ⅱ号地又显著高于Ⅰ号地;在 6、7、9、10 月,Ⅱ号和Ⅲ号样地显著高于Ⅰ号样地;即所有时段凋落松针 N 浓度均是高、中密度林分高于低密度林分(图 3)。在 1、5、6、7、12 月,松针 P 浓度在 3 个样地间差异显著($P<0.05$),但 3 个密度间差异无规律可循(图 3)。只有在 6 月和 7 月,松针木质素浓度在 3 个样地间差异显著($P<0.05$),Ⅱ、Ⅲ号样地显著高于Ⅰ号样地。每月凋落松针的 C/N、C/P、L/N、L/P 比在 3 个样地间均无显著差异($P>0.05$)(图 3)。

2.4　凋落松针基质质量、产量及气候因素关系分析

对每月松针基质质量参数、凋落数量及气候因素(月平均气温、月降水量)进行 Pearson 相关分析(表 3),结果表明:松针月凋落量与月平均气温呈显著正相关关系;凋落松针基质质量与自身凋落数量密切相关,并且受气温和降水量的影响。即凋落松针 N、P 浓度与其凋落数量呈显著负相关关系,C/N、C/P、L/N、L/P 比与其凋落数量呈显著正相关关系;凋落松针 P 浓度与降水量呈显著正相关,木质素浓度与月平均气温、月降水量呈显著负相关,C/N 比与月平均气温呈显著正相关,L/N 比与降水量呈显著负相关关系。

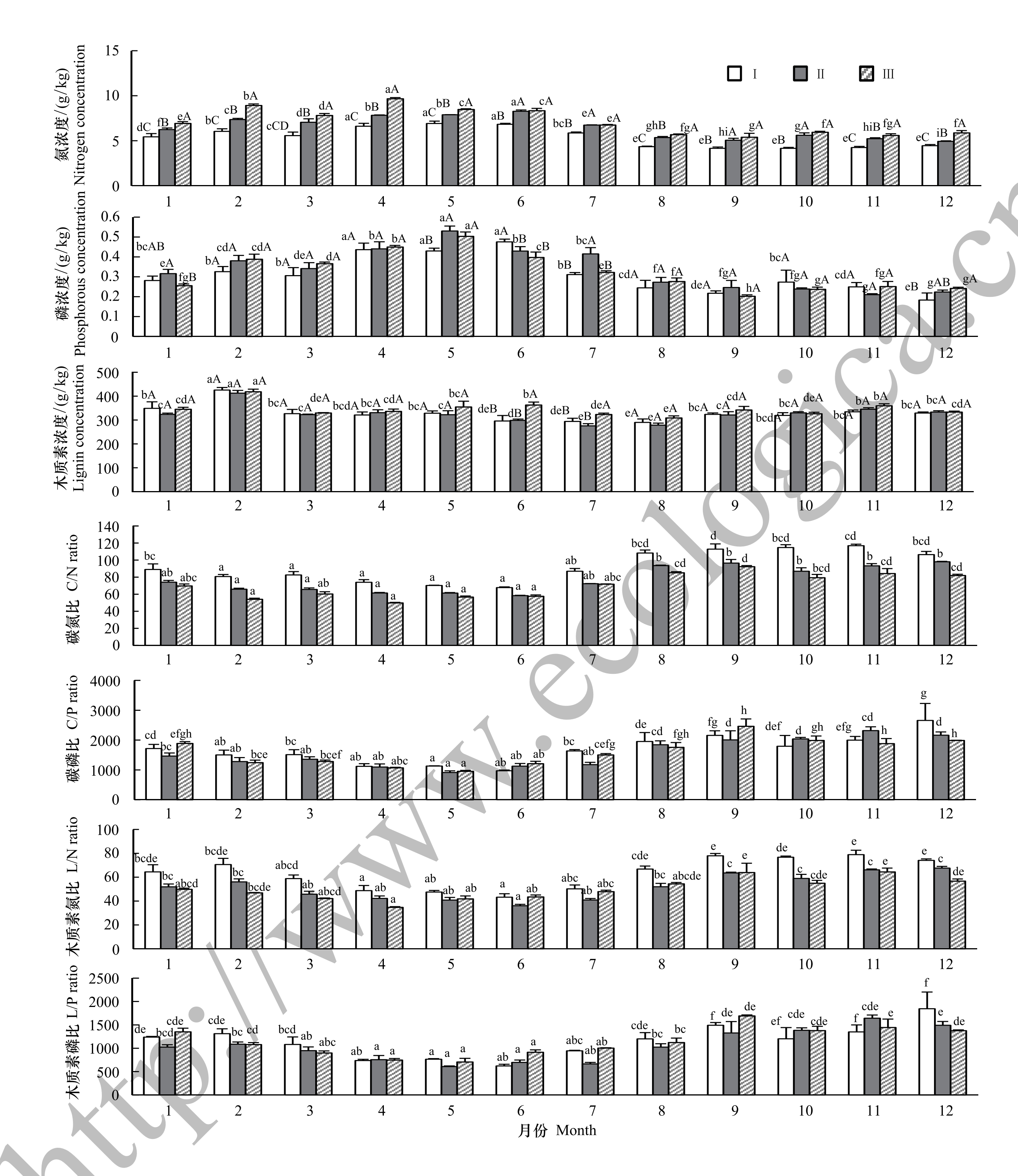


图 3 凋落松针基质质量月变化

Fig.3 Monthly dynamic of leaf litter qualities

小写字母代表不同时间凋落松针基质质量差异;大写字母代表不同密度林分凋落松针基质质量差异

3 讨论

3.1 松针凋落数量特征

森林月凋落量具有一定的季节动态[17]。由于气候、地理环境和林分特性差异,马尾松林在不同地域呈现

不同的凋落模式。如广西柳州凋落松针峰值出现在 2 月和 8、9 月,3、4 月份最少,属于双峰型[10];广西凭祥马尾松叶凋落量为不规则型,11 月凋落量最高,4 月最低[5];三峡库区凋落松针产量 11 月最高,2 月最低,为单峰型[11]。本研究中,凋落松针在 2 月呈现一个小高峰,在 10 月或 11 月达最高峰,3 月最少,应属双峰型,与广西柳州研究结果相似。本研究松针凋落数量季节变化规律可以解释为,休眠末期、顶芽萌发前期(2 月),受生长节律的影响,松针出现第一个凋落小高峰(图 2);抽梢期开始阶段(3 月)松针凋落数量最少(图 2);4—7 月气温持续升高,8 月气温略有降低(图 1),对应为马尾松抽梢中后期、封顶期和营养生长期,气温持续升高及高温对松针凋落影响大,松针凋落数量与气温呈现较好的正相关关系,表现为松针凋落数量逐渐增多(图 2);秋季(9—11 月) 为顶芽发育期,气温逐渐降低(图 1),低温刺激植物合成脱落酸,松针大量凋落,在 10 或 11 月出现第二个凋落高峰(图 2);之后温度持续降低,马尾松进入休眠期(12 月和 1 月),松针凋落量较少,也呈现松针凋落数量与气温的正相关关系。综合以上分析,马尾松松针凋落数量季节变化规律主要由自身生长生理节律决定,尤其在最大凋落季表现尤为明显,但在部分月份(如 4—7 月)还受月平均气温的影响,说明气温对松针凋落量的影响,相较于植物生长生理节律而言是个辅助的影响因素。

表 3　松针凋落数量、基质质量及气候因素的相关分析

Table 3　Pearson's correlation coefficients between litter-fall and substrate qualities, meteorological factors

	凋落量 Litter fall	气温 Temperature	降水量 Precipitation
凋落量 Litter fall	1		
气温 Temperature	0.640 *	1	
降水量 Precipitation	−0.039	0.410 *	1
氮浓度 Nitrogen concentration	−0.546 *	−0.308	0.261
磷浓度 Phosphorus concentration	−0.505 *	−0.144	0.334 *
木质素浓度 Lignin concentration	−0.175	−0.556 *	−0.329 *
C/N 比 C/N ratio	0.585 *	0.357 *	−0.254
C/P 比 C/P ratio	0.507 *	0.224	−0.298
L/N 比 L/N ratio	0.488 *	0.087	−0.383 *
L/P 比 L/P ratio	0.418 *	0.015	−0.376 *

* (P<0.05)

林分密度影响森林凋落物产量。王凤友认为森林凋落量开始随林分密度增大逐渐增加,而后便趋于下降[17];广西柳州和贵州龙里马尾松林凋落物产量随着林分密度的增加而增加[8,10]。本研究结果与王凤友结论相似,表现为中等密度林分松针凋落数量大。原因在于,3 个林分均充分郁闭(郁闭度>0.5),林地总生物量达稳定平衡,但个体间存在强烈竞争。在一定的密度范围内,随着密度升高,马尾松个体数量增加,林分及各器官生物量也增加,表现为随着密度增大松针凋落数量逐渐增多;当林分密度超过此范围后,为获取空间资源个体竞争进一步加剧,树冠体积和树冠表面积下降明显,虽然林分生物量继续增加,但松针所占生物量比例减少[18],进而引起其凋落量相应减少。

3.2　凋落松针基质质量特征

本研究结果表明,2—6 月凋落松针 N 浓度较高(5.56—9.67 g/kg),但低于我国森林凋落叶 N 浓度(12.3 g/kg)[18],更远低于陆生植物新鲜叶片 N 浓度(20 g/kg 左右)[19];P 浓度在 5 月凋落松针中最高(0.43—0.53 g/kg),也低于全球凋落叶 P 浓度(0.7 g/kg)[19],远低于新鲜叶片中 P 浓度(1.45—1.99 g/kg)[19]。因为在凋落的过程中,松针会出现养分转移和重吸收现象[20,21],所以凋落松针 N、P 浓度通常低于新鲜叶;因为不同生活型植物叶片养分含量存在明显差异,通常落叶树叶片的养分含量高于常绿树,阔叶树养分含量高于针叶树[22],所以马尾松凋落松针 N、P 浓度低于已有研究凋落叶平均浓度。杨会侠等研究表明,马尾松各凋落物组分 N、P 浓度呈现一定的季节变化,凋落物中 N、P 浓度最高值出现在生长旺盛的 3—8 月间,而最低值则出现在生长基本停止或休眠季节[10]。本研究结果与之相似,凋落松针 N、P 浓度变化规律与树种自身生长节律密切相关。在抽梢期、封顶期 (4—6 月),有更多的 N、P 养分向枝条、松针积累以促进其生长,此时凋落针

松针 N、P 浓度为全年最高;而在顶芽发育期和休眠期(9—12 月),凋落松针 N、P 浓度较低,主要是因为叶片在凋落前,已将部分营养物质转移到其他器官,供养分再利用。此外,凋落松针 P 浓度与月降水量呈显著正相关关系,说明还要考虑气候条件(降水量)的影响。

木质素结构复杂而稳定,是降解速率最慢的凋落物组分[23],被认为是影响凋落物后期分解转化的重要参数[2]。本研究中,凋落松针木质素含量在 275.6—425.7 g/kg 之间,高于凋落物中木质素一般含量 50—300 g/kg [24],属于木质素含量较高的凋落物种类。马尾松不同时段凋落松针木质素含量与月平均气温、月降水量存在显著负相关关系,同时也受其生长节律的影响。休眠末期、树液流动和顶芽萌发前期(2 月),凋落松针木质化程度最高(412.8—425.7g/kg),因为这个时期温度渐渐回升,树木休眠即将结束,树液开始流动,较高的木质化程度有利于水分、矿物质和有机物在植物体内的长距离运输,同时可有效阻止病原物的侵入,增加抗病能力[25];而在水热条件较好的营养生长期(7、8 月),凋落松针木质素化程度则较低(275.6—323.6 g/kg)。

本研究中,凋落松针 C/N 比(50—117)、C/P 比(913—2659)、L/N 比(35—79)和 L/P 比(607—1846)均较高。养分固持与释放同化学计量比密切相关,N 固持与释放的 C/N 比临界值为 20:1—30:1[26],L/N 比临界值为 23—25[27];P 固持与释放的 C/P 比临界值为 100—480[28],L/P 比临界值 500—620[27]。因凋落物种类不同,N、P 养分固定与释放临界值有所差异。但总体而言,马尾松凋落松针 C/N、L/N、C/P、L/P 比均明显高于养分释放临界值,故凋落松针在分解初期 N、P 养分应以积累为主。4—6 月凋落松针 C/N、C/P、L/N、L/P 比较低,8(9)—12 月凋落松针维持在较高水平,基质质量比月变化规律时间节点与 N、P 浓度月变化基本一致,故其月变化规律产生原因应与马尾松自身生长节律关系密切。另外,C/N 比与月平均气温呈显著正相关,L/N 比与降水量呈显著负相关关系,说明气候条件(气温和降水量)也是影响基质质量比因素。

以往研究发现,火炬松及湿地松叶片的 N 和 P、树干的 N 和 K、细根的 N 浓度随密度的增加而降低[29];马尾松杆材阶段的林分养分积累量在林分密度不大时随密度的增大而增加,当密度增加至一定程度后稳定在一定水平上,密度增大到超过一定限度时随密度增大而减少[30];油松林养分积累量呈现随密度增加先增加后降低的趋势[31]。林分密度影响树木养分的积累与归还,在森林养分循环中具有重要作用。本研究中,密度对不同时段凋落松针 N 浓度影响明显,高、中密度林地凋落松针 N 浓度显著高于低密度林地,而高、中密度林地的土壤速效氮含量小于低密度林地,说明在一定的密度范围内,适当提高林分密度有利于提高凋落松针 N 素含量。但密度对凋落松针 P 浓度的影响不规律,说明密度不是影响凋落松针 P 素含量的主要因子。密度对凋落松针木质素存在显著影响,但只出现在个别时段,仍需扩大样本数量深入研究。密度对凋落松针 C/N、C/P、L/N、L/P 比的影响不显著。

3.3 松针凋落特性与分解速率的关系

已有研究显示,凋落物初始 N 含量高会加快其分解[2,32],木质素含量高将延缓其分解[33],凋落物养分释放快慢与内源 N、P、K 含量呈正相关,与 C/N、L/N、C/P 比等呈负相关[34]。本研究中,凋落松针 N、P 浓度与凋落数量呈显著负相关关系,C/N、C/P、L/N、L/P 比与凋落数量呈显著正相关关系。由此可知,松针凋落特性动态变化将影响其分解转化。春季至初夏(4—6 月),松针凋落数量较少(88.72—253.95 kg/hm^2),此时凋落松针 N、P 含量高(N:6.61—9.67 g/kg、P:0.40—0.53 g/kg),C/N、C/P、L/N、L/P 比低(C/N:50—74、C/P:913—1211、L/N:35—49、L/P:607—915),这一时段凋落松针基质质量为全年最好,利于分解,但基质质量比仍高于营养元素释放的临界值,分解初期松针中 N 素和 P 素将被固定。秋季(9—11 月),松针凋落数量多(396.67—754.78 kg/hm^2),但此时凋落松针 N、P 含量低(N:4.16—5.94 g/kg、P:0.20-0.27 g/kg),C/N、C/P、L/N、L/P 比高(C/N:80—117、C/P:1794—2462、L/N:55—79、L/P:1202—1693),基质质量为全年最差,将有更低分解速率。

针对马尾松凋落松针基质质量普遍较低,特别最大凋落季基质质量更低的特性,建议采取适时施用氮磷肥或适当调控林分密度、丰富灌草层多样性,或采取营造针阔混交造林等措施,积极改善马尾松林下凋落物基质质量,促进凋落物分解,加速马尾松人工林养分循环,维持地力稳定。

参考文献(References):

[1] 李志安, 邹碧, 丁永祯, 曹裕松. 森林凋落物分解重要影响因子及其研究进展. 生态学杂志, 2004, 23(6): 77-83.

[2] Taylor B R, Parkinson D, Parsons W F J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. Ecology, 1989, 70(1): 97-104.

[3] Loranger G, Ponge J F, Imbert D, Lavelle P. Leaf decomposition in two semi-evergreen tropical forests: influence of litter quality. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(4): 247-252.

[4] 窦荣鹏, 江洪, 余树全, 马元丹, 郭培培. 柳杉凋落物在中国亚热带和热带的分解. 生态学报, 2010, 30(7): 1758-1763.

[5] 卢立华, 贾宏炎, 何日明, 李吉良, 覃书源. 南亚热带 6 种人工林凋落物的初步研究. 林业科学研究, 2008, 21(3): 346-352.

[6] 杨玉盛, 郭剑芬, 陈银秀, 陈光水, 郑燕明. 福建柏和杉木人工林凋落物分解及养分动态的比较. 林业科学, 2004, 40(3): 19-25.

[7] 侯玲玲, 毛子军, 孙涛, 宋元. 小兴安岭十种典型森林群落凋落物生物量及其动态变化. 生态学报, 2013, 33(6): 1994-2002.

[8] 姚瑞玲, 丁贵杰, 王胤. 不同密度马尾松人工林凋落物及养分归还量的年变化特征. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2006, 30(5): 83-86.

[9] 郭子武, 陈双林, 杨清平, 李迎春. 密度对四季竹叶片 C、N、P 化学计量和养分重吸收特征的影响. 应用生态学报, 2013, 24(4): 893-899.

[10] 杨会侠, 汪思龙, 范冰, 张伟东. 不同林龄马尾松人工林年凋落量与养分归还动态. 生态学杂志, 2010, 29(12): 2334-2340.

[11] 葛晓改, 周本智, 肖文发. 马尾松人工林凋落物产量、养分含量及养分归还量特性. 长江流域资源与环境, 2014, 23(7): 954-961.

[12] Berg B, Meentemeyer V. Litter fall in some European coniferous forests as dependent on climate: a synthesis. Canadian Journal of Forest Research, 2001, 31(2): 292-301.

[13] Liu C J, Westman C J, Berg B, Kutsch W, Wang G Z, Man R Z, Ilvesniemi H. Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia. Global Ecology and Biogeography, 2004, 13(2): 105-114.

[14] Lu S W, Liu C P. Patterns of litterfall and nutrient return at different altitudes in evergreen hardwood forests of Central Taiwan. Annals of Forest Science, 2012, 69(8): 877-886.

[15] Sariyildiz T, Anderson J M. Variation in the chemical composition of green leaves and leaf litters from three deciduous tree species growing on different soil types. Forest Ecology and Management, 2005, 210(1/3): 303-319.

[16] Van Soest P J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. a rapid method for the determination of fiber and lignin. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, 1963, 46(5): 829-835.

[17] 王凤友. 森林凋落量研究综述. 生态学进展, 1989, 6(2): 82-89.

[18] 丁贵杰. 马尾松人工林生物量和生产力研究 I. 不同造林密度生物量及密度效应. 福建林学院学报, 2003, 23(1): 34-38.

[19] 唐仕姗, 杨万勤, 王海鹏, 熊莉, 聂富育, 徐振锋. 中国森林凋落叶氮、磷化学计量特征及控制因素. 应用与环境生物学报, 2015, 21(2): 316-322.

[20] 李荣华, 汪思龙, 王清奎. 不同林龄马尾松针叶凋落前后养分含量及回收特征. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1443-1447.

[21] 郭峰, 周运超. 不同密度马尾松林针叶养分含量及其转移特征. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(4): 93-96.

[22] 王晶苑, 王绍强, 李纫兰, 闫俊华, 沙丽清, 韩士杰. 中国四种森林类型主要优势植物的 C: N: P 化学计量学特征. 植物生态学报, 2011, 35(6): 587-595.

[23] Brown M E, Chang M C Y. Exploring bacterial lignin degradation. Current Opinion in Chemical Biology, 2014, 19: 1-7.

[24] 邓长春, 蒋先敏, 刘洋, 张健, 陈亚梅, 和润莲. 高山林线交错带高山杜鹃的凋落物分解. 生态学报, 2015, 35(6): 1769-1778.

[25] 蒋挺大. 木质素(第二版). 北京: 化学工业出版社, 2009.

[26] Aber J D, Melillo J M. Litter decomposition: measuring relative contributions of organic matter and nitrogen to forest soils. Canadian Journal of Botany, 1980, 58(4): 416-421.

[27] Osono T, Takeda H. Accumulation and release of nitrogen and phosphorus in relation to lignin decomposition in leaf litter of 14 tree species. Ecological Research, 2004, 19(6): 593-602.

[28] 赵谷风, 蔡延骅, 罗媛媛, 李铭红, 于明坚. 青冈常绿阔叶林凋落物分解过程中营养元素动态. 生态学报, 2006, 26(10): 3286-3295.

[29] Barron-Gafford G A, Will R E, Burkes E C, Shiver B, Teskey R O. Nutrient concentrations and contents, and their relation to stem growth, of intensively managed *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* stands of different planting densities. Forest Science, 2003, 49(2): 291-300.

[30] 田大伦. 马尾松林杆材阶段养分循环及密度关系的研究. 林业科学, 1989, 25(2): 106-112.

[31] 赵广亮, 王继兴, 王秀珍, 沈应柏, 周金池. 油松人工林密度与养分循环关系的研究. 北京林业大学学报, 2006, 28(4): 39-44.

[32] Alhamd L, Arakaki S, Hagihara A. Decomposition of leaf litter of four tree species in a subtropical evergreen broad-leaved forest, Okinawa Island, Japan. Forest Ecology and Management, 2004, 202(1/3): 1-11.

[33] Hobbie S E, Reich P B, Oleksyn J, Ogdahl M, Zytkowiak R, Hale C, Karolewski P. Tree species effects on decomposition and forest floor dynamics in a common garden. Ecology, 2006, 87(9): 2288-2297.

[34] Mendonça E S, Stott D E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. Agroforestry Systems, 2003, 57(2): 117-125.